

SUR LA FORMATION
DES
GROTTES ET DES VALLÉES SOUTERRAINES

PAR

A. Flamache,

Ingénieur en chef des Chemins de fer de l'État Belge

Dans l'exposé qui va suivre, je vais être obligé de mettre en doute le bien fondé d'une théorie dont l'auteur est un membre éminent de notre Société, et cette nécessité m'est particulièrement désagréable quand je pense que je dois le peu de géologie que je possède, à son savoir, à sa complaisance inépuisable, à la véritable affection qu'il porte à tous ceux que tente l'étude des phénomènes naturels. Mais je me console un peu en pensant que lui-même serait mécontent si l'on ne mettait pas dans la recherche de la vérité la même ardeur qu'il y apporte : l'homme a si peu de moyens de découvrir les secrets de la nature qu'il n'y a rien d'humiliant à se tromper en cherchant à les découvrir !

Lors de l'excursion que nous fîmes, il y a deux ans, dans la région Han-Rochefort, je partis avec la conviction profonde que la théorie de M. Dupont sur la formation des cavernes, théorie défendue par son auteur avec le talent et l'autorité que nous lui connaissons ; que cette théorie, dis-je, représentait la vérité entière et sans conteste. Mais au fur et à mesure que j'essayais de la contrôler par des observations personnelles, la doctrine qui m'avait paru tout d'abord si lumineuse, se hérissa de difficultés. L'action chimique de l'eau acidule filtrante, qui dans cette théorie joue un rôle prépondérant, me sembla incapable de donner lieu aux phénomènes observés, et quelques objections formulées à la hâte, le premier soir de l'excursion, parurent

frapper plusieurs membres, qui m'engagèrent à continuer cette étude. A la suite de mes observations, M. Van den Broeck présenta des vues qui différaient notablement déjà de celles de M. Dupont, auxquelles je me ralliai dans le moment, mais à tort car, je le montrerai plus tard, les deux doctrines, celle purement chimique de M. Dupont, celle chimico-mécanique de M. Van den Broeck sont soumises à la même objection : le peu de profondeur à laquelle parvient l'action chimique de l'eau acidule.

Il ne sera pas inutile de rappeler en quelques mots la séduisante théorie que défend M. Dupont : d'après lui, certains massifs calcaires criblés de fissures, de failles, de diaclases, laissent pénétrer dans leurs profondeurs les eaux pluviales tombées à la surface. Ces eaux, remplissant des fissures dont les parois sont calcaires et encombrées de fragments calcaires, se chargent de bicarbonate de chaux à la faveur de l'acide carbonique qu'elles renferment.

Mais le calcaire enlevé aux parois laisse un vide et par suite, partout où les circonstances étaient favorables, il s'est formé des cavités de grandeurs très variables, depuis la grosseur d'une tête d'épingle jusqu'aux dimensions de la salle du Dôme de la grotte de Han, salle qui mesure plus de cent mètres.

Ces cavités étaient parfois reliées par des couloirs formant ainsi un lacis de vides minant partout le rocher aussi parfaitement que si la main de l'homme y avait passé.

Dans le creusement des vallées par érosion, il arriva que certaines de ces cavités furent ouvertes à l'air extérieur, se vidèrent et formèrent des grottes accessibles percées au flanc des vallées. D'autres fois le lacis de cavités fut ouvert par l'érosion au niveau de la rivière; celle-ci se précipitait dans la cavité, coulait souterrainement et venait rejoindre la rivière en aval, comme la Lesse, à Han. Enfin, le plafond de ces cavités s'effondrant parfois, il se forma sur le plateau des ouvertures donnant accès à l'intérieur, ouvertures qui devenaient l'origine de bétouilles ou aiguillois, sortés de déversoirs des plateaux vers le bas.

Aussitôt que la cavité put se vider, les eaux chargées de bicarbonate de chaux qui la traversaient en suintant, laissèrent échapper leur gaz carbonique et le phénomène stalactitique commença, formant les merveilleuses pétrifications qu'on admire dans les grottes accessibles.

Pour M. Dupont donc, la formation des cavités dans le calcaire est due exclusivement aux eaux *filtrantes* à travers les fissures et l'eau courante — rivière ou coulée d'aiguillois — n'a fait que profiter d'un canal tout préparé. La grotte est préexistante à l'entrée de la rivière. M. Van den Broeck estime que le phénomène a commencé exactement

comme le décrit M. Dupont, mais quand la rivière pénétra dans la cavité elle en modifia plus ou moins la forme, absolument comme elle l'eût fait à l'air libre. Cette théorie, plus élastique que celle de M. Dupont, peut mieux se défendre contre les improbabilités de fait, mais au fond les deux ensembles de vues sont identiques : il n'y a entre eux qu'une question de départagement ; si l'on admet avec M. Van den Broeck que l'eau acidule peut former de petites cavités dans les profondeurs, elle peut en créer de grandes, et d'un autre côté, je ne pense pas que M. Dupont nie l'action de la rivière sur son lit souterrain.

Dans la petite étude qui va suivre il y a deux parties bien distinctes : une *partie critique* que je pense être inattaquable et qui, si elle est vraie, détruit toute possibilité de réalité aux théories de MM. Dupont et Van den Broeck ; et une *partie théorique* où j'essaie de substituer une autre théorie à celles que je considère comme impossibles. Cette dernière partie est sujette à beaucoup d'objections ; je ne me le dissimule pas. Je prie donc mes contradicteurs, si j'ai l'honneur d'en avoir, de vouloir bien traiter à part les deux choses qui leur sont soumises : il serait trop facile d'atteindre le critique dans le théoricien. Répondre à mes critiques, attaquer mes vues personnelles sont donc deux points de vues bien distincts. Je demande formellement qu'on ne les mêle pas.

J'aborde donc le premier point : la critique de la théorie qui attribue la formation des cavités dans le calcaire à l'acide carbonique des *eaux filtrantes*, donc à l'action chimique seule, la lenteur de la circulation excluant tout phénomène mécanique.

L'action chimique des eaux acidules filtrantes a été mise à profit pour expliquer avec succès plusieurs phénomènes géologiques, mais, toujours, quand une nouvelle action méconnue a été découverte on la met à toute sauce.

Toute disparition de calcaire pouvant être mise sur le compte de l'action chimique, celle-ci, combinée avec le temps, devient une sorte d'axiome que l'on oppose à toute objection. L'observateur superficiel ne se demande même pas si elle est possible dans les conditions où il se place ; il lui suffit d'une simplicité apparente, qui bien rarement se rencontre dans la nature.

C'est ainsi que plusieurs théories géologiques, séduisantes et simples, ont croulé devant les faits, et c'est aussi, je pense, le cas de la théorie du creusement des cavernes par l'action chimique de l'eau filtrante.

Cette action, comme j'espère le démontrer dans ce qui va suivre, est tout à fait superficielle et je crois pouvoir fixer de 2 à 3 mètres

seulement le parcours limite qu'elle est capable d'atteindre en profondeur (1).

Voici quelques faits qui appuient cette manière de voir :

1° Certains plafonds de cavernes, notamment dans la grande salle de la grotte de Han, sont à quelques mètres au-dessous de la surface du sol. Les fissures qui donnent de l'eau sont garnies de stalactites. L'eau arrive donc fortement chargée de bicarbonate de chaux.

2° Dans les carrières de pierres calcaires, le remplissage des grands limés blancs, produit par la suée de la pierre, se remarque à quelques mètres de la surface du sol. Or, ce dépôt calcaire ne pourrait se produire si l'eau qui parcourt les fissures au moment de leur remplissage était chargée d'acide carbonique libre.

3° Dans les bancs de calcaire magnésien, partiellement dolomités, la transformation de la masse en dolomie s'observe sur une épaisseur de quelques mètres. En admettant avec M. Dupont que ce métamorphisme fût produit par l'ablation chimique de l'excès de calcaire, celui-ci serait donc enlevé sur 2 ou 3 mètres au plus par les eaux acidules filtrantes qui ont parcouru la masse de dolomie supérieure sans abandonner leur acide carbonique libre.

4° Dans trois aiguigeois de petite dimension observés par moi — dont un au moins sera encore présent à la mémoire des excursionnistes ayant assisté à notre course d'adût dernier à Rochefort, parce que M. Dupont le leur a représenté comme le type de l'aiguigeois, véritable préparation de laboratoire — la coupe en long, effectuée par l'exploitation d'une des carrières visitées, donnait lieu à un canal sinueux, mais de section parfaitement constante.

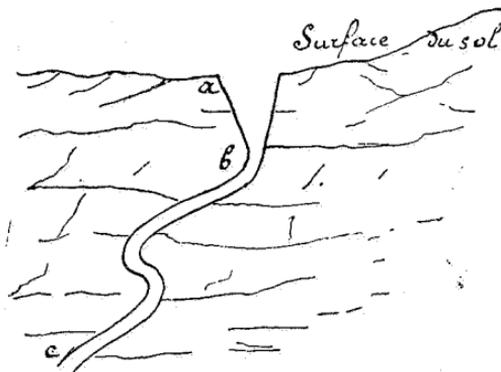


FIG. I. Coupe d'un aiguigeois de plateau, montrant l'entonnoir creusé par l'action chimique.

(1) Il est évident qu'il s'agit toujours d'eaux *filtrantes*. L'action de l'eau courante *superficielle*, par rapport à ses canaux, peut s'exercer à de grandes profondeurs sous le sol. Il en est de même si le terrain filtrant n'est pas calcaire.

Vers l'orifice (voir fig. 1) on remarquait une partie évasée depuis *a* usque *b* dont la formation pouvait être due à l'action chimique sur es parois. Arrivées en *b* les eaux étaient saturées. Et, en effet, s'il n'en avait pas été ainsi et si le canal *a, b, c* était dû tout entier à une action chimique, celle-ci aurait décru depuis *a* jusque *c*, et par suite, a section du canal aurait été plus petite en *c* qu'en *b*.

Si donc l'action chimique a participé au creusement du canal *a, b, c*, elle n'y a contribué que pendant un parcours de 2 à 3 mètres.

Cette uniformité se retrouve, modifiée naturellement par des accidents locaux, dans la plupart des conduits de grottes ou cavernes. Il n'y a jamais décroissance régulière de section de la surface aux profondeurs.

5° C'est un fait bien connu des hydrologues que les eaux recueillies en terrain calcaire atteignent leur degré hygrométrique maximum aussitôt qu'on les prélève à quelques mètres au-dessous de la surface.

6° M. Dupont lui-même n'a-t-il pas, dans un récent travail, rappelé le fait des chandelles de calcaire qui se produisent sous les voûtes aux dépens du mortier? Or, ces voûtes n'ont que quelques décimètres d'épaisseur.

Ces faits naturels, que l'on pourrait multiplier, montrent que l'action dissolvante de l'eau filtrante chargée d'acide carbonique, n'atteint pas les parties profondes des massifs calcaireux et qu'elle est saturée de calcaire dès les premiers mètres de son parcours.

D'ailleurs, le phénomène n'est pas inaccessible à l'expérimentation directe, et, à ma demande, notre savant collègue, M. l'abbé Renard, professeur de géologie à l'université de Gand, a bien voulu exécuter l'expérience suivante dans son laboratoire : avec quatre planchettes on forme un tube carré de 0^m,10 de côté et de 2 mètres de hauteur. Ce tube est rempli de fragments calcaires et de sable de façon à figurer le mieux possible une fissure en roche calcaireuse.

Un flacon supérieur A rempli d'eau maintenue saturée d'acide carbonique par un courant de gaz, laisse tomber à la surface du tube une goutte de dissolution toutes les secondes. Cette eau est recueillie dans un flacon inférieur B, après avoir filtrée à travers le tube vertical. Jamais, m'affirme M. l'abbé Renard, on n'a trouvé d'acide carbonique libre dans l'eau recueillie.

Une goutte d'eau mettait environ cinq jours pour passer du flacon A dans le flacon B, et ce trajet avait suffi pour la débarrasser de son gaz carbonique.

Or, une goutte par seconde sur une surface de 100 cm², représente un débit de plus de 4000 mètres cubes par hectare et par jour. On peut

donc affirmer que le courant d'eau filtrant dans l'appareil ci-dessus, était plus rapide que dans le phénomène naturel. D'autre part, l'eau était saturée d'acide carbonique, c'est-à-dire contenait plus de 1 gramme par litre, ou vingt fois autant que l'eau de pluie.

L'expérience a été ensuite tentée en diminuant beaucoup le débit et la saturation de l'eau, mais, comme il fallait s'y attendre, le résultat a été aussi négatif que dans l'expérience primitive.

Il me semble résulter clairement de ce qui précède que l'eau filtrant capillairement à travers les fissures où elle se trouve en contact avec du calcaire, a, au bout de quelques mètres de parcours, atteint un degré de saturation calcaire qui lui interdit toute dissolution subséquente. Elle atteint donc les profondeurs sans aucune faculté dissolvante spéciale et incapable de créer la moindre cavité. Bien au contraire, elle possède une faculté obstruante remarquable, bouchant des fissures, formant des amas, incrustant aussitôt qu'elle peut perdre une partie de l'acide carbonique combiné qu'elle renferme.

L'action chimique des eaux filtrantes a donc pour effet d'attaquer les parties superficielles des plateaux calcaires et de combler les vides inférieurs avec le carbonate de chaux dissous. Grâce à elle le calcaire joue le rôle d'un *terrain meuble chimiquement*, plus meuble peut-être que le sable et l'argile, car ceux-ci ne pourraient pénétrer dans bien des fissures où le calcaire dissous pénètre et se dépose.

Les constatations précédentes suffiraient pour mettre à néant toute théorie basée sur l'action chimique profonde des eaux filtrantes. Mais il y a d'autres faits tirés de la morphologie des cavernes qui viennent corroborer ces constatations.

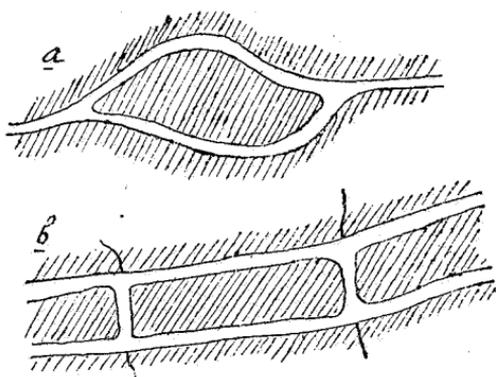


FIG. II. Exemples de dédoublement et de communications latérales dans les couloirs souterrains.

Considérons par exemple le plan de la grotte de Han. Nous y voyons un réseau de galeries présentant des élargissements caverneux, mais toutes débouchent par un parcours plus ou moins sinueux et par deux bouts vers la rivière ou vers le plateau. A part quelques couloirs de très petite longueur, aucun n'est un cul de sac. L'ensemble de ces galeries représente assez bien un lacis artériel divergent depuis les ouvertures d'amont pour converger ensuite vers les ouvertures d'aval. Nous y observons des dédoublements (fig. II *a*), des communications latérales entre deux galeries voisines (fig. II *b*), mais pas de galeries développées et se terminant dans le plein de la roche.

Or, supposons qu'une grotte ramifiée se soit créée par filtration corrosive comme l'expose M. Dupont, et supposons que deux ouvertures, A et B (fig. III), l'une à l'amont l'autre à l'aval se soient ouvertes lors de

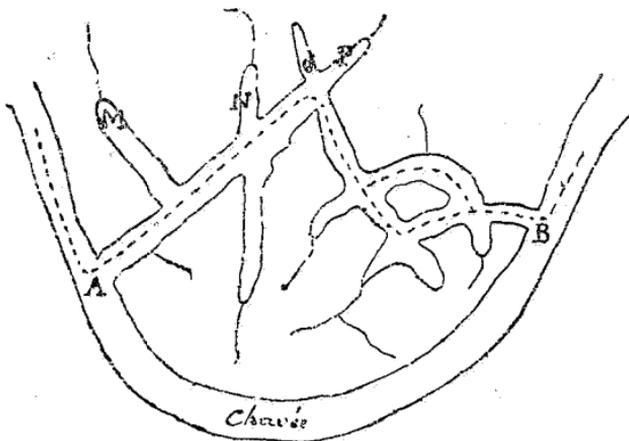


FIG. III. Forme que devraient avoir les grottes si l'action chimique existait seule. Les dimensions des couloirs où circule la rivière ne sont pas plus grandes que les dimensions de ceux qu'elle n'atteint pas.

érosion de la vallée; la rivière s'y engouffre et suit le parcours pointillé, mais elle laisse à droite et à gauche des culs de sacs qui resteront tels si le creusement de la grotte a pris fin par sa vidange.

La figure III représente donc le facies de la cavité dans l'hypothèse d'une combinaison d'agrandissement de fissures préalable à tout courant d'eau. Ces fissures, agrandies par l'action chimique, se prolongeraient l'une à travers l'autre, la rivière choisirait à travers l'un ou l'autre chemin, mais les galeries M, N, O, P, etc., resteraient comme témoins de l'action filtrante.

Si les vues de M. Van den Broeck étaient exactes, le lit de la rivière

souterraine serait le même que précédemment, mais il existerait à droite et à gauche des amorces de galeries, plus étroites il est vrai, mais bien distinctes des fissures (fig. IV).

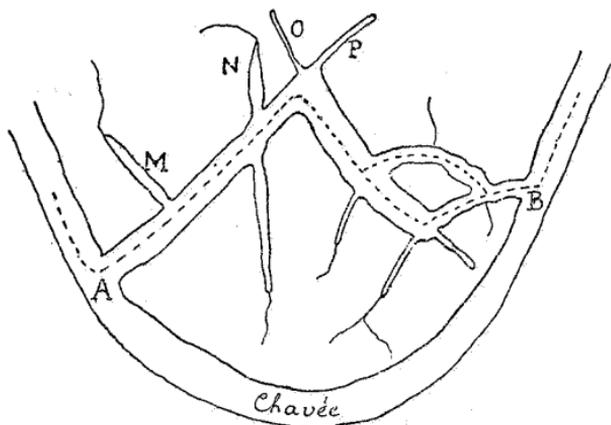


FIG. IV. Forme que devraient avoir les grottes si l'action chimique avait été préalable mais non prépondérante. Les couloirs où circule la rivière se prolongent par des couloirs plus petits.

C'est ce qui n'a pas lieu.

A l'examen sur place nous retrouvons bien les diaclases, les failles directrices, les fissures qui ont donné la direction aux galeries, mais elles sont restées jointives, à peine visibles, et si elles donnent parfois de l'eau, celle-ci est incrustante.

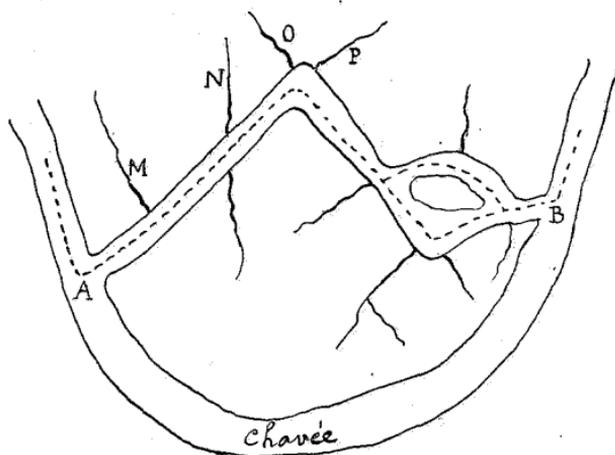
On peut donc conclure que la rivière a été le facteur unique du creusement de son lit, et dans cette hypothèse le facies de la caverne est représenté par la figure V.

Et c'est en effet ce que l'on observe, et il en résulte cet axiome que *toute caverne est ou a été le lit d'une rivière souterraine*.

A cette affirmation quelque peu hardie, je le reconnais, on peut opposer l'exemple de cavernes perchées au flanc des collines, cavernes qui ne donnent pas d'eau... ou plutôt qui n'en donnent plus.

Ces cavernes à mi-côte — comme le trou des Nutons par exemple, qui semble le type caractéristique de la cavité creusée de la façon indiquée par M. Dupont — ces cavernes, dis-je, possèdent des couches épaisses d'argile rouge très fine provenant du reliquat de la décomposition du calcaire, qui en contient moins de 5 %.

Cette argile se rencontre abondamment sur les plateaux, d'où elle provient à l'évidence de la dissolution du calcaire superficiel par les eaux acidules.



V. Forme affectée par les cavernes. Les couloirs où circule la rivière ne sont prolongés que par des fissures sans largeur notable.

D'après la théorie de M. Dupont, l'argile rouge rencontrée dans ces cavernes ne peut provenir que du résidu de la seule masse calcaire de cette caverne, car le mode d'amenée de l'eau exclut tout apport non dissous. Or, en admettant que cette argile ait la densité du calcaire, ce qui n'est pas loin de la vérité, chaque mètre de hauteur de dépôt argileux représente la dissolution de 20 mètres au moins de calcaire. Le trou des Nutons contient cinq ou six mètres d'épaisseur d'argile. On ne peut donc prétendre que le trou des Nutons ait fourni tout ce résidu. Dès lors il y a apport, ce qui exclut la filtration des eaux.

En résumé trois objections sérieuses peuvent être produites contre la théorie qui avance que les cavités observées dans le calcaire ont été formées par de l'eau acidule filtrante :

1° L'action chimique de l'eau acidule filtrante ne s'étend qu'à de faibles profondeurs.

2° Si la caverne était préexistante il devrait y avoir des culs de sac dans les galeries. Au lieu d'être la rare exception, ce devrait être la règle.

3° L'argile de dissolution trouvée dans les cavernes ne peut provenir exclusivement de leur masse. Elle a été apportée par des torrents.

Ici se termine la partie critique de mon travail. En la présentant je n'ai eu qu'un but : faire jaillir la vérité, et je serai le premier heureux si la théorie de M. Dupont, si séduisante, si compacte dans ses détails,

sortait victorieuse de l'épreuve à laquelle j'ai la prétention de la soumettre.

J'aborde maintenant le second point de ma communication : l'exposé d'une théorie, peut-être hasardée, pour expliquer sans intervention nécessaire de l'action chimique profonde des eaux filtrantes, la formation de cavités dans les roches.

Loin de moi la pensée de nier l'importance de cette action, principalement dans les calcaires, mais je la crois superficielle. Cependant si, d'après moi, son action n'est pas indispensable, je ne me dissimule pas qu'une grosse objection m'attend. Aussitôt, dira-t-on, que vous abandonnez l'action chimique comme facteur principal, comment expliquez-vous que les grottes ne se rencontrent que dans les terrains calcaires. A cela je réponds que je n'en sais rien. Il est fort difficile de réfuter une objection négative et je pourrais répondre par une objection du même genre en disant : si l'action chimique de l'eau acidule filtrante sur le calcaire est le seul facteur du phénomène comment expliquez-vous que la *moindre* fissure dans *tout* calcaire ne devienne pas le siège d'une cavité.

La théorie qui va suivre expose un mode de formation de cavités dans les roches fissurées par l'action érosive, QUELLE QU'ELLE SOIT, de l'eau *courante*. Certains phénomènes me font croire que la prépondérance appartient à la partie mécanique de cette érosion, mais je n'aurais aucune répugnance à la lui retirer pour la donner à la partie chimique, ce qui lèverait immédiatement l'objection capitale ci-dessus. Je ne m'occuperai pas de ce départageant, parce que je manque de faits précis à cet égard. D'ailleurs l'érosion mécanique souterraine n'a rien d'impossible à *priori*. Ne voyons-nous pas, en effet, des vallées profondes creusées par érosion à travers des roches non calcaires. Ici l'action chimique est inopérante, et en fait on ne l'a jamais considérée que comme un facteur négligeable. Je ne pense donc pas poser une proposition absurde en disant :

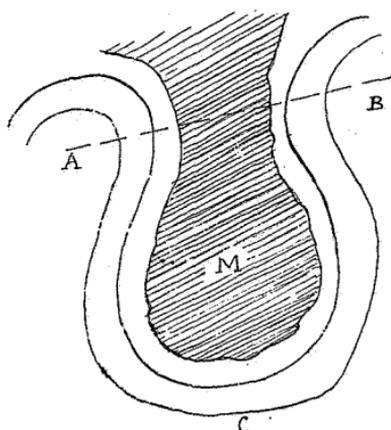
Le creusement des vallées souterraines a lieu par les mêmes causes et suivant les mêmes lois que celui des vallées à l'air libre.

Pour que cette proposition soit justifiée il faut montrer que des écoulements souterrains peuvent se produire.

On sait que si deux points d'un liquide réunis par une conduite sont à des pressions différentes, un écoulement se produira à travers cette conduite, quelle qu'en soit la résistance. Si donc ces conditions se rencontrent dans la nature, un courant d'eau se produira souterrainement. Examinons certains cas de la région Han-Rochefort.

Coupure souterraine.

dit un lacet de rivière ABC (fig. VI) produit par l'interposition d'un



VI. Plan d'une communication souterraine entre deux points d'une même rivière.

sif fissuré M. Faisons une coupe suivant AB et marquons sur les bords tous les chemins possibles pour se rendre de A en B sans passer le niveau N(1) d'amont (fig. VII). Dans cet ensemble les pressions vont s'établir de telle sorte que dans *tous* les chemins il y aura un courant d'eau. Le courant, d'abord faible, va nettoyer la fissure dans laquelle il circule, en enlevant les parties terreuses en premier lieu vers l'amont, gagnant l'amont et ayant bientôt un conduit net, sur les parois duquel il opère peu à peu, absolument comme à l'air libre. Le conduit s'élargit, le courant s'accroît, l'érosion augmente et il se produit de l'amont vers B une vallée souterraine dont le mode de creusement ne diffère pas de celui de la vallée à l'air libre.

Parfois même par suite de sa position, la vallée souterraine absorbe toute l'eau de la rivière en temps de sécheresse, laissant la chavée à sec. N'est-ce pas facile de reconnaître en *a* et en *b*, fig. VII, les dédoublements et les communications latérales de la figure II, observés dans la grotte de la figure I?

Le mode de creusement n'explique que la formation des cavités au-dessous du niveau d'amont actuel, mais il peut y en avoir au-dessus aussi par des causes différentes ou disparues, écroulements de rochers, creusement par des aiguilles de plateau, creusement à une époque antérieure alors que la vallée était moins profonde.

Nous faisons abstraction de l'eau tombant sur le massif M, sinon l'horizontale N(1) devrait être remplacée par une courbe bombée vers le haut.

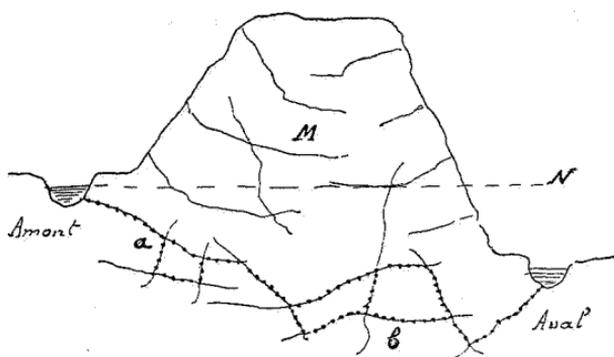


FIG. VII. Coupe de la communication souterraine précédente.

Aiguigeois de plateau.

Les eaux de ruissellement des plateaux ont donné lieu à des canaux verticaux qui peuvent rejoindre la rivière en débouchant à ciel ouvert ou qui peuvent se rendre dans une partie souterraine du cours d'eau.

Si en *m* se trouve un point bas pourvu d'une fissure, fig. VIII, un écoulement se produit et les mêmes phénomènes se répètent.



FIG. VIII. Formation d'un aiguigeois de plateau.

Aiguigeois de chavée. Ils se produisent quand entre un point d'amont et un point d'aval du lit d'une rivière, il existe des fissures communicantes (fig. IX).



FIG. IX. Formation d'un aiguigeois de chavée.

L'eau passant par *abcde* se fraie un passage d'abord lent, puis plus rapide, il peut même arriver que toute la rivière en temps sec s'enjouffre dans la fissure agrandie.

On voit que la théorie que je viens d'esquisser rend compte des principaux cas rencontrés dans la nature. Elle peut être soumise à un criterium infaillible. En effet, pour elle une caverne est un élargissement d'une vallée souterraine causée par un courant d'eau. Dès lors toute caverne doit posséder un conduit d'amenée et un conduit de sortie. Si une exploitation de carrière amenait au jour une cavité absolument close, sauf les fissures par lesquelles ne peuvent suinter que des gouttes, la fausseté de ma théorie serait démontrée.

